

การเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดน้ำของตะกอนส่วนเกินโดยใช้สารเคมีของเฟนตันเปรียบเทียบกับแสง
อัลตราไวโอเลต/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นางสาวปาริฉัตร มาลีวงษ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

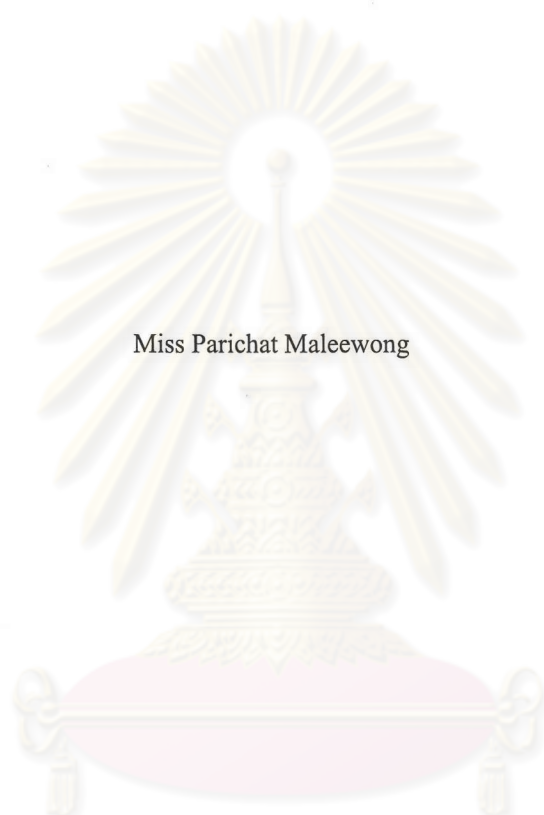
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6878-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF DEWATERABILITY OF SEWAGE SLUDGE USING FENTON'S REAGENT
COMPARED WITH ULTRAVIOLET/HYDROGEN PEROXIDE



Miss Parichat Maleewong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6878-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดน้ำของตะกอนส่วนเกินโดยใช้สารเคมี
ของเฟนตันเปรียบเทียบกับแสงอัลตราไวโอเลต/ไฮโดรเจนเปอร์
ออกไซด์

โดย

นางสาวปาริฉัตร มาลีวงษ์


สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

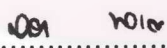
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

ปาริฉัตร มาลีวงษ์ : การเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดน้ำของตะกอนส่วนเกินโดยใช้สารเคมีของเฟนตันเปรียบเทียบกับแสงอัลตราไวโอเลต/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.

(IMPROVEMENT OF DEWATERABILITY OF SEWAGE SLUDGE USING FENTON'S REAGENT COMPARED WITH ULTRAVIOLET/HYDROGEN PEROXIDE)

อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สุธา ขาวเขียว 109 หน้า. ISBN 974-17-6878-8

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการรีดน้ำของตะกอนส่วนเกินซึ่งเป็นตะกอนที่ได้จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการเติมสารเคมีของเฟนตันและการใช้แสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพการรีดน้ำของตะกอนได้แก่ ค่าความต้านทานจำเพาะของตะกอน ปริมาณน้ำในตะกอน ค่าซีโอดี ค่าบีโอดีและค่าบีโอดีต่อซีโอดี การทดลองได้กำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการรีดน้ำของตะกอนเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยปัจจัยดังกล่าวสำหรับวิธีการเติมสารเคมีของเฟนตันได้แก่ อัตราส่วนความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($Fe^{2+}:H_2O_2$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5:1, 1:1 และ 2:1 โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 50% ซีโอดีโดยน้ำหนัก ค่าพีเอชซึ่งเท่ากับ 3, 4, 5 และ 7 และเวลาในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 2, 10, 30, 60 และ 120 นาที สำหรับวิธีการใช้แสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลคล้ายกับวิธีการเติมสารเคมีของเฟนตันยกเว้นปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งเท่ากับ 25% ซีโอดี, 50% ซีโอดี และ 100% ซีโอดีโดยน้ำหนัก ผลการศึกษาสำหรับวิธีการเติมสารเคมีของเฟนตันแสดงว่าที่ความเข้มข้น $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ค่าพีเอชในช่วง 3-5 และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 10 นาทีจะให้ค่าประสิทธิภาพการรีดน้ำที่เหมาะสมที่สุด ส่วนผลของวิธีการใช้แสงอัลตราไวโอเลตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระบุว่าที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 100% ซีโอดีโดยน้ำหนัก ค่าพีเอชในช่วง 3-5 และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาทีมีประสิทธิภาพในการรีดน้ำดีที่สุด โดยค่าใกล้เคียงกับที่เวลา 60 นาที เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองวิธีที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากันพบว่าที่พีเอชในช่วง 3-5 ทั้งสองวิธีให้ประสิทธิภาพการรีดน้ำดีที่สุดโดยวิธีเติมสารเคมีของเฟนตันมีประสิทธิภาพสูงกว่า และเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นกลับพบว่าตะกอนที่ผ่านวิธีการใช้แสงยูวีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มที่จะสามารถรีดน้ำได้ดีกว่าวิธีเติมสารเคมีของเฟนตัน

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2547

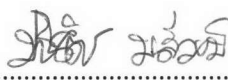
ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

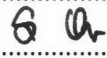
4570418821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORDS: DEWATERABILITY / FENTON / ADVANCED OXIDATION / SLUDGE /
ULTRAVIOLET

PARICHAT MALEEWONG : IMPROVEMENT OF DEWATERABILITY OF SEWAGE
SLUDGE USING FENTON'S REAGENT COMPARED WITH
ULTRAVIOLET/HYDROGEN PEROXIDE. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF.
SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 109 pp. ISBN 974-17-6878-8

This research aims at the investigation of dewaterability of municipal sewage sludge by comparing the efficiency of Fenton's reagent ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$) with photo-oxidation using ultraviolet radiation combined with hydrogen peroxide (UV/ H_2O_2). The dewaterability of sludge was investigated in terms of its specific resistance to filtration, water content, COD, BOD, and BOD/COD. The potential factors affecting the dewaterability of sludge were, for Fenton process, $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ concentration, pH, and reaction time. The concentration of H_2O_2 was 50% COD by weight and $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ratios were 0.5:1, 1:1 and 2:1. The pH values were 3, 4, 5, and 7, and reaction times were 2, 10, 30, 60, and 120 minutes. For photo-oxidation process, all the factors for Fenton process were applied except hydrogen peroxide concentrations being 25% COD, 50% COD, and 100% COD by weight. The experiment was carried out to explore the effects of relevant factors to the dewatering potential. The results indicated that the optimum condition for sludge dewaterability with Fenton process was at $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ concentration of 2:1, pH of 3-5, and reaction time of 10 minutes. The results of photo-oxidation process showed that the optimum condition was achieved at H_2O_2 concentration of 100% COD by weight, pH of 3-5, and reaction time of 30 min. However, at reaction time of 30 minutes, it was found that the dewaterability of sludge was very close to those at 60 and 120 minutes. Compared with Fenton process at the same hydrogen peroxide concentration, it was found that the optimum pH for improving sludge dewaterability was 3-5 for both oxidation processes, whereas the Fenton process was few superior. However, the photo-oxidation tended to be more effective at higher pH values.

Department Environmental Engineering Student's signature.....

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความกรุณาของ ผศ. ดร. สุธา ขาวเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้แนวทางและข้อเสนอแนะเพื่อการแก้ไขและปรับปรุง ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และห้องปฏิบัติการวิจัยปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ใช้สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ทำการทดลองมาโดยตลอด จนการทดลองสำเร็จลุล่วงในที่สุด

ขอขอบคุณอาจารย์ จันทวรรณ ดันเจริญ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยอำนวยความสะดวกในด้านการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณพี่ปริญญา ถึงมี และพี่ๆ โรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างตะกอนน้ำเสียมาทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เพื่อนร่วมชั้นเรียน พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการวิจัยตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การทบทวนทฤษฎีเกี่ยวกับตะกอนและการบำบัด.....	4
2.1.1 ตะกอน (Sludge)	4
2.1.2 กระบวนการออกซิเดชันด้วยสารเคมีและกระบวนการแอดวานซ์ออกซิเดชัน	13
2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอไซด์และบีโอดี	20
2.2 การทบทวนเอกสารงานวิจัยเกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	37
3.1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	37
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	37
3.2 ตะกอนที่ใช้ในการทำวิจัย.....	38
3.3 วิธีการทดลอง	38
3.3.1 วิธีการใช้สารเคมีของเฟนตัน (Fe^{2+}/H_2O_2).....	40
3.3.2 วิธีการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UV/ H_2O_2).....	41

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	45
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอน	45
4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรีดน้ำของตะกอน.....	45
4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะกับประสิทธิภาพการรีดน้ำของ ตะกอน	46
4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในตะกอนกับค่าความต้านทานจำเพาะและ ประสิทธิภาพการรีดน้ำของตะกอน	49
4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีและบีโอดีกับความสามารถในการรีดน้ำของ ตะกอน	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
รายการอ้างอิง.....	60
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก วิธีการทดลองเพื่อหาค่าความสามารถในการกรอง ความสามารถในการ รีดน้ำและคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอน	65
ภาคผนวก ข ค่าความต้านทานจำเพาะของตะกอน.....	70
ภาคผนวก ค ค่าปริมาณน้ำในตะกอน	83
ภาคผนวก ง ค่าซีโอดี ค่าบีโอดี และบีโอดีต่อซีโอดี	96
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตะกอน	105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	109

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ลักษณะของตะกอนที่มีความเข้มข้นต่างๆ	6
ตารางที่ 2.2	เปอร์เซ็นต์ของแข็งในตะกอน	7
ตารางที่ 2.3	แหล่งกำเนิดและลักษณะของตะกอน	7
ตารางที่ 2.4	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอน	9
ตารางที่ 2.5	ตัวอย่างปริมาณตะกอนน้ำเสียและเปอร์เซ็นต์ของแข็ง.....	10
ตารางที่ 2.6	ความสามารถในปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเคมีชนิดต่างๆ	15
ตารางที่ 2.7	ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดด้วย UV ออกซิเดชัน	19
ตารางที่ 2.8	อัตราส่วน BOD/COD ของน้ำเสียอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์	20
ตารางที่ 2.9	อัตราส่วน BOD/COD ในน้ำเสียต่างๆ.....	21
ตารางที่ 2.10	อัตราส่วนระหว่าง BOD5/COD ของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ.....	22
ตารางที่ 2.11	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและการลดสีของน้ำเสียจาก โรงงานย้อมผ้าโดยใช้เกลือของเหล็กและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	26
ตารางที่ 2.12	ค่า SRF, SRF reduction ของเงื่อนไขการทดลองที่ต่างกัน	29
ตารางที่ 3.1	มาตรฐานสำหรับวิธีการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ	41
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแรม	45
ตารางที่ ก.1	ความต้านทานจำเพาะของตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแรม.....	68
ตารางที่ ก.2	ปริมาณน้ำในตะกอนจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแรม	69
ตารางที่ ก.3	ค่าซีโอดี ค่าบีโอดี และค่าพีเอชจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแรม	69
ตารางที่ ข.1	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 0.5:1 ที่พีเอช 3	71
ตารางที่ ข.2	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 1:1 ที่พีเอช 3	71
ตารางที่ ข.3	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 3	72
ตารางที่ ข.4	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 0.5:1 ที่พีเอช 4	72
ตารางที่ ข.5	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 1:1 ที่พีเอช 4	73
ตารางที่ ข.6	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 4	73
ตารางที่ ข.7	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 0.5:1 ที่พีเอช 5	74
ตารางที่ ข.8	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 1:1 ที่พีเอช 5	74
ตารางที่ ข.9	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 5	75
ตารางที่ ข.10	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 0.5:1 ที่พีเอช 7	75
ตารางที่ ข.11	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 1:1 ที่พีเอช 7.....	76

ตารางที่ ข.12	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 7.....	76
ตารางที่ ข.13	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:25%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 3	77
ตารางที่ ข.14	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:50%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 3	77
ตารางที่ ข.15	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:100%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 3	78
ตารางที่ ข.16	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:25%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4	78
ตารางที่ ข.17	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:50%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4	79
ตารางที่ ข.18	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:100%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4	79
ตารางที่ ข.19	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:25%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 5	80
ตารางที่ ข.20	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:50%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 5	80
ตารางที่ ข.21	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:100%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 5	81
ตารางที่ ข.22	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:25%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 7	81
ตารางที่ ข.23	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:50%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 7	82
ตารางที่ ข.24	ค่าความต้านทานจำเพาะที่ UV: H_2O_2 เท่ากับ UV:100%COD โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 7	82
ตารางที่ ค.1	ปริมาณน้ำในตะกอนที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 0.5:1 ที่พีเอช 3	84
ตารางที่ ค.2	ปริมาณน้ำในตะกอนที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 1:1 ที่พีเอช 3	84
ตารางที่ ค.3	ปริมาณน้ำในตะกอนที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 3	85
ตารางที่ ค.4	ปริมาณน้ำในตะกอนที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 0.5:1 ที่พีเอช 4	85
ตารางที่ ค.5	ปริมาณน้ำในตะกอนที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 1:1 ที่พีเอช 4	86

ตารางที่ ง.12	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $Fe^{2+}:H_2O_2$ เท่ากับ 2:1 ที่พีเอช 7.....	100
ตารางที่ ง.13	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:25\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 3	101
ตารางที่ ง.14	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:50\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 3	101
ตารางที่ ง.15	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:100\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 3	101
ตารางที่ ง.16	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:25\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 4	102
ตารางที่ ง.17	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:50\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 4	102
ตารางที่ ง.18	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:100\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 4	102
ตารางที่ ง.19	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:25\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 5	103
ตารางที่ ง.20	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:50\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 5	103
ตารางที่ ง.21	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:100\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 5	103
ตารางที่ ง.22	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:25\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 7	104
ตารางที่ ง.23	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:50\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 7	104
ตารางที่ ง.24	ค่าซีไอดี ค่าบีไอดี และบีไอดีต่อซีไอดีที่ $UV:H_2O_2$ เท่ากับ $UV:100\%COD$ โดย น้ำหมัก ที่พีเอช 7	104
ตารางที่ จ.1	ตัวอย่างผลการทดลองเพื่อหาค่าปริมาณน้ำในตะกอน	107

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	ลักษณะการเกิดตะกอนแบบต่างๆ.....	6
รูปที่ 2.2	ช่วงความยาวของแสงอัลตราไวโอเล็ต.....	18
รูปที่ 2.3	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีในการออกซิเดชันด้วยแสงในน้ำเสียที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ	24
รูปที่ 2.4	ค่าพีเอชที่มีผลต่อซีโอดีของกระบวนการออกซิเดชันด้วยแสงในน้ำเสียที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ	25
รูปที่ 2.5	ผลการเติมเฟอร์ริกไอออนในกระบวนการออกซิเดชันด้วยแสงในน้ำเสียที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ	25
รูปที่ 2.6	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นของ Fe:Mn ต่างๆ	28
รูปที่ 2.7	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นของ Fe:Mn:Cu ต่างๆ	28
รูปที่ 2.8	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ ต่างๆ.....	28
รูปที่ 2.9	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในช่วงของพีเอชต่างๆ.....	28
รูปที่ 2.10	ค่าซีโอดี สี และ BuCl ที่เวลาต่างๆ โดยที่ H ₂ O ₂ = 100 มก./ลิตร, Fe ²⁺ = 20 มก./ลิตร, UV = 64 วัตต์, พีเอช = 4.....	30
รูปที่ 2.11	อิทธิพลของพีเอชในการกำจัดสี	31
รูปที่ 2.12	อิทธิพลของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการกำจัดสีโดยที่ Fe ²⁺ = 20 มก./ลิตร, UV = 64 วัตต์, พีเอช = 4	31
รูปที่ 2.13	การเปลี่ยนแปลงของค่าORP และ COD _{cr} หลังจากเติมสารเคมีของเฟนตัน โดยที่ COD _{cr} เริ่มต้น=1500มก. /ลิตร, H ₂ O ₂ = 3000 มก./ลิตร, Fe ²⁺ 0.1 โมล, พีเอช = 3.....	32
รูปที่ 2.14	ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ H ₂ O ₂ ต่อ ORP สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยกระบวนการเฟนตัน โดยที่ COD _{cr} เริ่มต้น = 1750มก. /ลิตร, Fe ²⁺ /H ₂ O ₂ = 0.1 โมล, พีเอช = 3	32
รูปที่ 2.15	ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ H ₂ O ₂ ต่อประสิทธิภาพการกำจัด COD _{cr} โดยที่ COD _{cr} เริ่มต้น =1320มก. /ลิตร, H ₂ O ₂ 3000 มก./ลิตร, Fe ²⁺ 0.3 โมล, พีเอช = 3	33
รูปที่ 2.16	ผลของ (a) อุณหภูมิ (600 mM H ₂ O ₂ ; 0.5 mM FeSO ₄ × H ₂ O; pH 2.5; 24 h) (b) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (55 °C; 0.5 mM FeSO ₄ × H ₂ O; pH 2.5; 24 h) (c) pH (55 °C; 150 mM H ₂ O ₂ ; 0.5 mM FeSO ₄ × H ₂ O; 24 h) และ (d) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (55 °C; 150 mM H ₂ O ₂ ; 0.5 mM FeSO ₄ × H ₂ O; pH 2.5) ที่มีอิทธิพลต่อค่า SR	34

รูปที่ 2.17	ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำกรองและในกากตะกอน.....	35
รูปที่ 2.18	อัตราส่วน Fe/ H ₂ O ₂ ที่มีผลต่อความต้านทานจำเพาะ	36
รูปที่ 2.19	ปริมาณความชื้นของตะกอนสลัดจ์ก่อนการทดลองและหลังทำการทดลอง.....	36
รูปที่ 3.2	แผนผังการทดลองด้วยวิธีการเติมสารเคมีของเฟนตัน.....	43
รูปที่ 3.3	แผนผังการทดลองด้วยวิธีการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	44
รูปที่ 4.1	ค่าความต้านทานจำเพาะของตะกอนที่ผ่านกระบวนการเฟนตัน	46
รูปที่ 4.2	ค่าความต้านทานจำเพาะของตะกอนที่ผ่านกระบวนการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	48
รูปที่ 4.3	ค่าความต้านทานจำเพาะของตะกอนที่ผ่านกระบวนการของเฟนตันและUV/H ₂ O ₂ เปรียบเทียบกับH ₂ O ₂ ที่พีเอช 3	49
รูปที่ 4.4	ปริมาณน้ำในตะกอนที่ผ่านกระบวนการเฟนตัน	50
รูปที่ 4.5	ปริมาณน้ำในตะกอนที่ผ่านกระบวนการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์	51
รูปที่ 4.6	ปริมาณน้ำในตะกอนที่ผ่านกระบวนการของเฟนตันและUV/H ₂ O ₂ เปรียบเทียบกับ H ₂ O ₂ ที่พีเอช 3	52
รูปที่ 4.7	ค่าซีไอดีของตะกอนที่ผ่านกระบวนการเฟนตัน	53
รูปที่ 4.8	ค่าซีไอดีของตะกอนที่ผ่านกระบวนการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์	54
รูปที่ 4.9	ค่าบีไอดีของตะกอนที่ผ่านกระบวนการเฟนตัน	55
รูปที่ 4.10	ค่าบีไอดีของตะกอนที่ผ่านกระบวนการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์	55
รูปที่ 4.11	ค่าบีไอดี/ซีไอดีของตะกอนที่ผ่านกระบวนการเฟนตัน	56
รูปที่ 4.12	ค่าบีไอดี/ซีไอดีของตะกอนที่ผ่านกระบวนการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	56
รูปที่ ก.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า t/v กับ v	67
รูปที่ จ. 1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า t/v กับ v	106